

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

BEST AVAILABLE COPY

(11)Publication number : 11-045887

(43)Date of publication of application : 16.02.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/3205

(21)Application number : 10-143914

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH CORP

(22)Date of filing : 26.05.1998

(72)Inventor : RATHORE HAZARA S
DALAL HORMAZDYAR M
PAUL S MCLAUGHLIN
NGUYEN DU B
SMITH RICHARD G
SWINTON ALEXANDER J
WACHNIK RICHARD A

(30)Priority

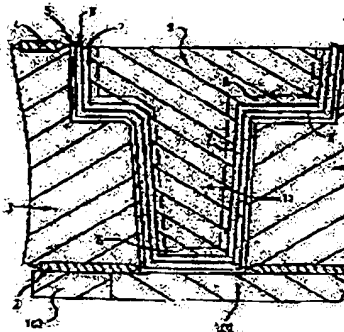
Priority number : 97 866777 ... Priority date : 30.05.1997 ... Priority country : US
97 947277 08.10.1997 US

(54) COPPER INTERCONNECTION OF SUB-QUARTER MICRON REDUCING DEGREE OF INFLUENCE FROM DEFECT-ENHANCING ELECTRO-MIGRATION RESISTANCE

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To form performance interconnection circuit having a high dimension of sub-half micron having enhanced processing yield and reliability by a method wherein a multilayered interconnection of a copper wire separated from each other by a dielectric insulation is formed, and a contact part with an electrical mechanism in a substrate is formed.

SOLUTION: A thin layer 7 of an element, capable of forming a compound between copper and a metal which preferably has a thickness of about 100 to 600 angstroms is adhered to an arbitrarily selected layer 6, and thereafter a thin copper seed layer 8 of a thickness of about 600 to 2000 angstroms is typically stacked. A remaining copper layer 9 is electrically plated after the copper seed layer 8 to bury a groove, or the layer 8, or the layer 8 and the layer 9, may be stacked by a CVD method. Next, this substrate wafer is polished by a chemical mechanical method and all extra metals are removed from a region in which a pattern is not drawn to thereby make a flat structure.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.10.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3057054

[Date of registration] 14.04.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-458

(43)公開日 平成11年(1999)2

(51)IntCl.

識別記号

FI

H01L 21/3205

H01L 21/88

K

M

審査請求 有 請求項の数17 OL (全1)

(21)出願番号 特願平10-143914

(22)出願日 平成10年(1998)5月26日

(31)優先権主張番号 08/866777

(32)優先日 1997年5月30日

(33)優先権主張国 米国(US)

(31)優先権主張番号 08/947277

(32)優先日 1997年10月8日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシ
ズ・コーポレーションINTERNATIONAL BUS
ESS MACHINES COR
RATIONアメリカ合衆国10504、ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)

(72)発明者 ハザラ・エス・ラソーア

アメリカ合衆国12582 ニューヨーク州
トームビル ジュディス・ドライブ 1

(74)代理人 弁理士 坂口 博 (外1名)

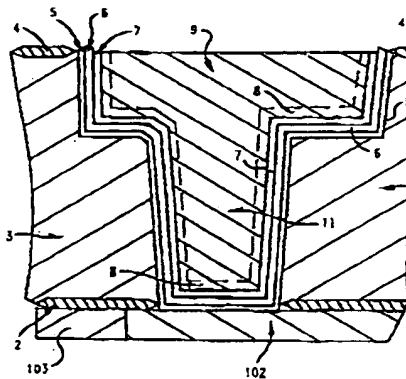
最終頁に1

(54)【発明の名称】 エレクトロマイグレーション耐性が向上し欠陥影響度が少ないサブクォーターミクロンの銅相互接続

(57)【要約】

【課題】 向上したエレクトロマイグレーション耐性と腐食耐性とを備えるサブハーフミクロンの銅相互接続を設ける方法。

【解決手段】 この方法は、シード層が化学的気相付着または物理的気相付着によって約800オングストローム未満の層に付着された、電気めっきされた銅を使用した二重ダマシンを含む。



BEST AVAILABLE COPY

(2)

特開平11-45

【特許請求の範囲】

【請求項1】基板内の電気機構との接点を形成するために誘電絶縁によって互いに分離された銅線の多層相互接続を形成する方法であって、

(a) 画定されたパターン内に銅線を収容する誘電絶縁層を有する基板を設けるステップと、

(b) 前記パターン内に金属線を付着させるステップと、

(c) 化学的気相付着銅層を前記パターン内に付着させるステップと、

(d) 化学的気相付着銅層の上に異なるプロセスによって銅の層を付着させて前記パターンをほぼ充填するステップとを含む方法。

【請求項2】化学的気相付着銅層が約50ないし2000オングストロームの厚さを有する、請求項1に記載の方法。

【請求項3】化学的気相付着銅層が約100ないし700オングストロームの厚さを有する、請求項1に記載の方法。

【請求項4】前記化学的気相付着銅層を付着させるステップの前に、

(i) 前記パターン内に銅との金属間化合物を形成することができる元素の層を付着させ、さらに前記パターンを充填する銅の層を付着させるステップと、

(ii) 基板を加熱して金属間化合物形成元素を前記パターンを充填する前記銅層と反応させて金属間化合物の層を形成するステップとをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項5】金属間化合物形成元素が、ハフニウム、ランタン、チタン、スズ、およびジルコニウムから成るグループから選択される、請求項4に記載の方法。

【請求項6】基板内の電気機構との接点を形成するために誘電絶縁によって互いに分離された銅線の多層相互接続を形成する方法であって、

(a) 画定されたパターン内に銅線を収容する誘電絶縁層を有する基板を設けるステップと、

(b) 任意選択により前記パターン内に金属線を付着させるステップと、

(c) 約800オングストローム未満の厚さを有する銅の物理的気相付着層を前記パターンで付着させるステップと、

(d) 物理的気相付着銅層の上に異なるプロセスによって銅の層を付着させて前記パターンをほぼ充填するステップとを含む方法。

【請求項7】物理的気相付着がスパッタリングによる、請求項6に記載の方法。

【請求項8】物理的気相付着が蒸着による、請求項6に記載の方法。

【請求項9】物理的気相付着銅層が約600オングストローム未満の厚さを有する、請求項6に記載の方法。

【請求項10】前記物理的気相付着銅層を付着させるステップの前に、

(i) 前記パターン内で銅との金属間化合物を形成することができる元素の層を付着させ、さらに前記パターンを充填する銅の層を付着させるステップと、

(ii) 基板を加熱して金属間化合物形成元素を前記パターンを充填する前記銅層と反応させて金属間化合物を形成するステップとをさらに含む、請求項6に方法。

【請求項11】金属間化合物形成元素がハフニウム、ランタン、チタン、スズ、およびジルコニウムからグループから選択される、請求項10に記載の方法。

【請求項12】基板内の電気機構との接点を形成ために誘電絶縁によって互いに分離された銅線の多層相互接続を形成する方法であって、

(a) 画定されたパターン内に銅線を収容する誘電層を有する基板を設けるステップと、

(b) 前記パターンで金属線を付着させるステップと、

(c) 化学的気相付着と物理的気相付着とから成る一から選択したプロセスによって前記パターンで800オングストローム未満の厚さを有する銅の層を付着させるステップと、

(d) 銅のシード層の上に異なるプロセスによって層を付着させて前記パターンをほぼ充填するステップを含む方法。

【請求項13】銅シード層が約600オングストローム未満の厚さを有する、請求項12に記載の方法。

【請求項14】前記銅シード層を付着させるステップの前に、

(i) 前記パターンで銅との金属間化合物を形成することができる元素の層を付着させ、さらに前記パターンを充填する銅の層を付着させるステップと、

(ii) 基板を加熱して金属間化合物形成元素を前記パターンを充填する前記銅層と反応させて金属間化合物を形成するステップとをさらに含む、請求項12に方法。

【請求項15】金属間化合物形成元素が、ハフニウム、ランタン、チタン、スズ、およびジルコニウムからグループから選択される、請求項14に記載の方法。

【請求項16】銅シード層が物理的気相付着によって付着される、請求項15に記載の方法。

【請求項17】銅シード層が化学的気相付着によって付着される、請求項15に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本特許出願は、1997年4月30日出願の「COPPER INTERCONNECTIONS WITH ENHANCED ELECTROMIGRATION RESISTANCE AND REDUCED DEFECT SENSITIVITY」に優先権を主張する。

BEST AVAILABLE COPY

(3)

特開平11-45

VITY AND METHOD OF FORMING SAME」という名称の米国特許出願第08/866777号の一部継続出願である。

【0002】本発明は、半導体製造分野に関し、具体的には腐食および欠陥の影響度が低減され、それによって信頼性が向上したサブミクロン寸法の銅ベースの相互接続の設計に関する。本発明は設計した構造体を形成する方法の提供にも関する。

【0003】

【従来の技術】素子の幾何形状が超大規模集積回路用に小型化されるに伴い、最小のピッチと高い導電率を持つ相互接続配線と、誘電率が低いと同時に従来以上に確かな信頼性を必要とするパッシベーション材料の需要がますます増大している。特に、サブクォーターミクロンの線幅の世界では、高い導電率と高いエレクトロマイグレーション耐性が最重要要素である。

【0004】1つの手法は、導電率が高くエレクトロマイグレーション耐性が高いという理由から銅金属配線をクロス・キャパシタンスの低いポリイミド・パッシベーションと共に使用することであった。この手法を使用するプロセスは、ルーサー (Luther) 等の「VLSI Multilevel Interconnection Conference (VMIC)」(pp. 15-21, 1993) によって開示されている。二重ダマシン法を使用して銅相互接続線と中間層バイア・スタッドを同時に形成するプロセスの改良が、本出願の共通出願人の米国特許第5434451号でダラール (Dallal) 等によって教示されている。ダマシン法では、細い溝または細い穴あるいはその両方の組合せの充填が必要である。当技術分野では、そのような細い穴や溝を充填するためにスパッタリングや蒸着などの物理的气相付着 (PVD) 法を使用するのは適切でないことがよく知られている。これは、充填される金属線またはスタッドのきわめて先細の断面が形成されるためである。やはり本出願と共通出願人のジョシ (Joshi) 等の米国特許第5300813号では、PVD法を使用して高導電率金属を付着させた後、タングステン・キャップ層の化学的气相付着 (CVD) によって先細の断面の上部を充填する方法が教示されている。このキャッピング・プロセスの結果、先細の断面のために銅製導線の断面積が大幅に縮小される。また、キャッピング金属が導線金属に沿って付着されるため、完成品において導線エッジに沿って導線金属のスリットが露出される。さらに、このキャッピング・プロセスの化学機械研磨ステップ中に、研磨によって除去された硬い金属粒子が金属線をすり減らす傾向がある。したがって、銅の付着にはCVDや電気めっきなどのコンフォーマルな付着方法が必要である。

【0005】しかし、CVD銅は、必要なきわめて複雑な前駆体の貯蔵寿命が限られているという欠点があるこ

とがわかっている。CVD銅のさらに重要な問題として、製造ラインの汚染であり、それによって素子がだめになることである。

【0006】電気めっきによる銅付着は、数十年たってプリント回路基板 (PCB) に使用されてきた。電気めっきは低コストで、付着温度が低く、狭い開口コンフォーマルに被覆することができるため、銅配線における好ましい付着方法である。銅の電気めっきには基板上に銅シード層が必要であることを理解している。シード層のために銅を付着させるのにPVDが常に使用されてきた。しかし、PVD付着させたエレクトロマイグレーション耐性は電気めっきされた10分の1であり、CVD銅のエレクトロマイグレーション耐性の3分の1であることがわかっている。シード層は相互接続線の断面積の20%まで形成されることがあるため、このシード層は銅相互接続線のエレクトロマイグレーション特性をひどく阻害する。銅のエレクトロマイグレーション耐性は通常の設計の導線における電流密度に耐えるだけの十分な高さであるが、PVDシード/電気めっき銅導線には欠陥によるエレクトロマイグレーション障害が見られた。銅の高い導電率のために、2、3百オングストロームまで薄くした場合、導線や厚さなどの線欠陥が電気スクリーニング検査で発見されずに合格してしまうことがある。実際の使用中にこれらの領域における電流密度はかなり高く、それによってエレクトロマイグレーションによる初期現場障害が生じることがわかる。

【0007】相互接続線の寸法がサブクォーターミクロンである場合、シード層にPVD法を使用することによる別の重大な問題が生じる。この場合、PVD法によって付着させた薄いシード層であっても、開口部が狭くなる。この結果、中空の殻状の線ができる。

【0008】CVD銅付着技法には、たとえば、銅体による製造ラインの汚染などの問題があり、それによって半導体素子がだめになる。CVD付着させた銅が厚くなればそれだけ、線の汚染の傾向が大きくなる。

【0009】高温応用分野用に、または機械強度を得るために、銅と様々な元素との同時付着が、トーマス (Thomas) による米国特許第5414301号、シャピロ (Shapiro) 等による米国特許第417039号、アクツ等の米国特許第4872048号およびウッドフォード (Woodford) とブリックネル (Bricknell) による米国特許第44858号で教示されている。しかし、銅を他の元素と同時に付着させると、通常は電気抵抗率が高くなり、それによって高パフォーマンス・システムで銅を使用するという目的そのものが不可能になる。

【0010】銅金属配線における他の信頼性問題は銅

BEST AVAILABLE COPY

(4)

特開平11-41

5

である。これについて、以下に図1および図2を参照しながら説明する。図1は前述の従来技術の相互接続方式の構造体であり、各層が二重ダマシン法によって固定された2層の金属相互接続が示されている。図2は相互接続の断面の拡大図であり、1つの層上の銅相互接続線9がパイア・スタッド11を介して下層の金属相互接続線102と接触していることが示されている。二重ダマシン法では、パイア・スタッド11と導線102は互いに一体となった部分であることを理解されたい。この銅相互接続は接着層5と、任意選択の絶縁層6と、PVD銅シード層8と、バルク銅層9および11と、ポリイミド絶縁層3の上の無機絶縁層4とを含む。

【0011】導線の腐食は一般に層間絶縁にポリイミドを使用することに関連して起こる。これは、層間絶縁にポリイミドを使用する場合、通常はその塗布によって無機絶縁体4の薄い層が塗布されることになるためである。この無機絶縁体の薄い層は、チャウ(Chow)等の米国特許第4789648号で教示されているようにエッチ・ストップとして機能するように、またはジョシ(Joshi)等の米国特許第5403779号で教示されているように化学機械研磨中のポリイミド層を少なくするように付加される(両特許は本出願人に譲渡されている)。この無機絶縁層4の有害な効果は、ポリイミド膜内の残留水分が逃げのを阻害することである。したがって、ポリイミド膜内の蒸気圧が大きくなり、銅内に逃げる。その結果、酸化銅と水酸化物が形成される。時間と温度に伴って、この酸化物と水酸化物が銅導体内に最終的にボイド13(図1)を形成する。腐食によるこれらのボイド13は、2つの理由によって銅導体の上表面から始まると考えられる。1つは、銅層5および6は導線の底部と側面を被っているが、上面は被っていないことである。第2には、無機絶縁層4と導線の側壁上の線5および6との間の接合部が、プロセス温度偏移中に分離し、それによって水分が銅と接触する経路ができることである。本出願人に譲渡されたジョシ(Joshi)等の米国特許第5426330号では、銅導体の上にタンダステン(Cu₂S)のキャップを設けて銅の腐食を防ぐ方法を教示している。前述のように、このキャップ法によって研磨中に望ましくない層が形成され、それによって金属線が磨耗する。

【0012】したがって、さまざまな努力が繰り返されたにもかかわらず、従来の技術の様々な方式では、欠陥の影響を受けるエレクトロマイグレーション障害と腐食による製造上の問題が残る。信頼性が向上し、欠陥の影響度が少ない銅集積回路パターンを製作するより良い方法を開発する必要がある。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】したがって、従来技術の問題と欠点を念頭に置き、本発明の目的は、向上したプロセス歩留まりと信頼性を有するサブハーフミクロン

6

の寸法の高パフォーマンス相互接続回路を製作することを提供することである。

【0014】本発明の他の目的は、低誘電率のオド・パッシベーションを備えた高導電率銅ベース配線を提供することである。

【0015】本発明の他の目的は、エレクトロマイグレーション耐性を向上させることによって、銅相互接続線の欠陥影響度を低くすることである。

【0016】本発明の他の目的は、相互接続線のトロマイグレーション耐性を向上させるようにPシード層の厚さを薄くした電気めっき銅相互接続を提供することである。

【0017】本発明の他の目的は、金属線の保全性を与えない、導線に金属キャップを被せる方法することである。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の目的およびならわけるその他の目的は、基板内に、エレクトロマイグレーション耐性および腐食耐性を向上させたサブミクロンの銅相互接続を設ける方法に関する本によって達成される。この方法は、電気めっき銅を1層の二重ダマシン法を含むことができ、その場合、1層の薄くしたPVD層を使用するか、またはPVD層・VDF付着銅の約3倍のエレクトロマイグレーション耐性を有するCVD銅シード層のコンフォーマルな被せを施す。本発明では、シード層は金属間層に変換することもできる。ハフニウム、ランタン、ジルコニウム、チタンなどの銅金属間物質の層を設けて、エレクトロマイグレーション耐性を向上させ、欠陥影響度を低くする。基板上に形成された銅線の上部の表面を完全なキャップを形成して腐食耐性を向上させる方法とする。銅格子間位置に炭素原子を組み込むことによりエレクトロマイグレーション耐性と腐食耐性を向上させる構造および方法についても説明する。

【0019】一態様では、本発明は誘電絶縁によって分離された銅線の多層相互接続を形成して基板と電気機械との接触部を作る方法を含む。この方法には、固定されたパターンで銅線を收容する誘電絶縁を有する基板を設けるステップと、任意選択によりパタンで金属線を付着させるステップとを含む。その後パターンで厚さを薄くしたPVD銅の層、CVD銅層、または銅との金属間化合物を形成することができ、元素の層を付着させた後、1層または複数層の銅をさせる。金属間化合物形成元素を付着させる場合はその後で基板を加熱して金属間化合物形成元素と銅層とを反応させ、銅層内に金属間化合物の層を形成する。金属間化合物形成元素は、ハフニウム、ランタン、チタン、およびジルコニウムから成るグループから選択することが好ましい。金属間化合物形成元素層を銅層の付着させることも、銅層を金属間化合物形成元素層

BEST AVAILABLE COPY

(5)

特開平11-41

7

に付着させることもできる。また、金属間化合物形成元素層を銅層の前に付着させ、さらに銅層の後に金属間化合物形成元素層を付着させることもできる。

【0020】金属層、金属間化合物形成元素の層、および銅の層は、スパッタリング、蒸着、およびCVDから成るグループから選択された共通の付着技法または別個の付着技法で付着させることができる。金属線、金属間化合物形成元素の層、および銅の層は単一のポンプダウンでスパッタリングによってその場で(in-situ)付着させることが好ましく、その際、スパッタリングは反応性スパッタリング、コリメート・スパッタリング、マグネトロン・スパッタリング、低圧スパッタリング、ECRスパッタリング、イオン・ビーム・スパッタリング、およびこれらの任意の組合せとすることができる。

【0021】より好ましい方法では、本発明は、サブミクロンのピッチで、低誘電率絶縁によって互いに分離された、銅線から成る信頼性の高い多層相互接続を形成して基板内の電気機構との接点を作る方法に関する。この方法は、最初に、電気機構を有する基板上に1対の絶縁層を付着させるステップと、絶縁層のうちの少なくとも一方にバイア・スタッド・パターンをフォトリソグラフィによって画定するステップと、1対の絶縁層を部分的にエッチングするステップと、絶縁層のうちの少なくとも一方に相互接続線パターンをフォトリソグラフィによって画定するステップと、電気機構が露出するまで絶縁層をエッチングするステップと、それによって1対の絶縁層内に溝と穴を形成するステップとを含む。その後、溝と穴の中に線形金属配線を付着させる。銅と金属間化合物を形成することができる元素の層と、1つまたは複数の銅層を付着させ、穴と溝を充填する。銅を研磨して溝の外にある余分な金属を除去し、基板を加熱して金属間化合物形成元素と銅を反応させて銅との金属間化合物の層を形成する。

【0022】銅層のうちの1層を銅と炭素ガスとの反応性スパッタリングによって付着させて、付着銅の格子内に炭素原子を組み込むことができる。金属間化合物形成元素の厚さは約100~600オングストロームであることが好ましい。金属間化合物層は、穴および溝内の銅の下、穴および溝内の銅の中、または穴および溝内の銅の上に形成することができる。

【0023】関連態様では、本発明は、電気機構を有する基板上に付着させた1対の絶縁層を含む銅線の相互接続を有し、絶縁層がエッチングされたバイア・スタッド・パターンとエッチングされた相互接続線パターンとを有して1対の絶縁層内に穴と溝が形成された基板を提供する。溝と穴の内側は金属層で被われ、穴と溝は銅で充填され、銅の部分に銅金属間化合物の領域が含まれている。

【0024】他の態様では、本発明は溝を有する基板上

8

に、向上したエレクトロマイグレーションおよび性を有する銅相互接続を設ける方法であって、真空中で基板を加熱するステップと、真空中に気体の素物質を導入するステップと、基板の溝内に銅を付着させると同時に銅格子中に格子間原子を組み込みに銅線を形成するステップとを含む方法に関する。着中に基板を100~400℃に保持し、炭素物化学式 C_xH_y または C_xH_x を有し、炭素、窒素は硫黄を含まない炭化水素であることが好ましい。

【0025】関連態様では、本発明は、電気機構を基板上に付着させた1対の絶縁層を含む銅線の線を有する基板であって、絶縁層は穴と溝を形成エッチングされたバイア・スタッド・パターンとエッチングされた相互接続線パターンを含み、溝と穴の内層で被い、穴と溝が銅で充填され、銅は約0.5ppmの炭素を含む基板を提供する。

【0026】他の態様では、本発明は、周囲の絶縁同一平面の面を有する基板相互接続上の保護キャップを有する基板を設けるステップと、エッチングされたバイア・スタッド・パターンとエッチングされた相互接続線パターンとで絶縁層内に穴と溝を形成するステップと、穴と溝を絶縁層の上面まで銅で充填して基板相互接続を形成するステップとから成る。次に、銅を研磨してその表面を周囲の絶縁層の表面より下に凹ませる。その後、凹ませた銅の上のキャップ用の材料の層を絶縁層面より上の高さまで付着させる。次にこの層を研磨して、基板相互接続の外部の領域からキャップを除去し、周囲の絶縁層面と同一平面のキャップを形成する。凹みの厚さは約100~400オングストロームであることが好ましく、キャップの材料は選択的付着させ、タンガステン、タンガステン・シリコン、タンガステン窒素、ハフニウム、ジルコニウム、タンタム窒化タンタル、チタン、スズ、ランタン、ゲルマニウム、炭素、クロム、クロム酸クロム、プラチナ、およびそれらの組合せから成るグループから選択することが好ましい。

【0027】他の態様では、本発明は、基板内の電気機構との接点を形成するために誘電体絶縁によって互に分離された銅線から成る多層相互接続を形成する方法であって、(a)画定されたパターン内に銅線を収容するように誘電体絶縁層を有する基板を設けるステップと、(b)任意選択により、パターン内に金属線を付着するステップと、(c)その後でパターン内に、約8オングストローム未満の厚さを有する銅の化学的気相層または銅の物理的気相付着層を付着させるステップと、(d)化学または物理的気相付着銅層の上に、るプロセスによって銅の層を付着させてパターンを充填するステップとを含む方法を提供する。

【0028】化学的気相付着銅層の厚さは約50~

BEST AVAILABLE COPY

(6)

特開平11-45

9

00オングストロームであることが好ましく、約100～700オングストロームであることがより好ましい。物理的気相付着は、銅スパッタリングまたは真空蒸着によって行うことができ、物理的気相付着銅層の厚さは約600オングストローム未満であることが好ましい。

【0029】化学または物理的気相付着銅層を付着させる前に、この方法は、パターン内に銅との金属間化合物を形成することができる元素の層を付着させるステップを含むことができる。パターンをほぼ充填する銅の層を付着させた後で、本発明は基板を加熱して金属間化合物形成元素をパターンをほぼ充填する銅の層と反応させて金属間化合物の層を形成するステップを含むことができる。

【0030】

【発明の実施の形態】本発明の好ましい実施形態の説明では、図面のうちの図3ないし図13を参照するが、図中では同様の数字は本発明の同様の機構を示す。図面では本発明の機構は必ずしも一定の縮尺で図示されているわけではない。

【0031】図3を参照すると、典型的にはそれぞれ絶縁層106、103内に形成されたチタンおよび窒化チタンの基層（図示せず）を備えたタングステンである、様々な素子接触スタッド（パイア）101と局所相互接続（線）102をその上に有するシリコン基板105から成る従来のシリコン半導体構造体の断面が図示されている。薄い絶縁体層を使用することによって、たとえばミスマライメントによるパイアと線の間金属スパイクが形成されるのを防ぐことは、本出願と同日に出願された「SELF-ALIGNED COMPOSITE INSULATOR WITH SUB-HALF MICRON MULTILEVEL HIGH DENSITY ELECTRICAL INTERCONNECTIONS AND PROCESS THEREOF」という名称の米国特許出願（整理番号F19-96-137）で開示されている。

【0032】本発明の方法は、サブミクロンのピッチで、低誘電率絶縁によって互いに分離された信頼性の高い銅線の多層相互接続を形成して、基板内の電気機構との接点を形成する。基板構造体は、複数の電子素子を有する半導体か、有機回路キャリア、またはセラミック回路キャリアとすることができる。局所相互接続102は従来の技術のダマシン法によって、局所相互接続の上面を周囲の絶縁体103の表面とほぼ同一平面にし、典型的にはホウケイ酸またはリンケイ酸ガラスまたはSiO₂を付着させて形成することが好ましい。次に誘電絶縁層2、3、および4を付着させて高導電率の相互接続を形成するプロセスを開始する。1対の絶縁層はECR、スパッタリング、プラズマCVD、CVD、スピニング、またはこれらの方法の任意の組み合わせによって付着させることができる。たとえば、これらの絶縁

10

層はポリイミド、窒化シリコン、アルミナ、二酸化リン、リンケイ酸ガラス、酸化イットリウム、酸ネシウム、エアロゲル、またはこれらの材料の組み合わせで作ることができる。

【0033】この場合、同時係属米国特許出願第841221号で教示されている絶縁体の選択と、絶縁体を集積回路の製作に組み込む方法を使用とができ、その出願の開示は参照により本明細書に込まれる。

【0034】次に、たとえばフォトリソグラフィセスによって、絶縁層4の上にパイア・スタッドを画定し、その後、適切なエッチング液を使い絶縁層4をエッチングし、絶縁層3を部分的にエッチングするステップを行う。次に、高導電金属相互接続パターンを、この場合もたとえばフォトリソグラフィセスによって画定し、その後で絶縁層3および層2の残りをエッチングして溝12と穴13を形成し金属線102を露出させる。これらのステップは、術分野で周知の二重ダマシン法と呼ばれる方法のプロセス・ステップであり、本出願の出願人に譲渡されたラール等の米国特許第5434451号などの出願に記載されており、その開示は参照により本明細書に組み込まれる。

【0035】次に、選択した線材料および高導電金属を本発明により付着させ、化学機械法により研磨して金属を除去し、それによってパイア・スタッドと接続金属線のパターンを同時に形成する。本発明はプロセス中で絶縁層2、3、および4にパイア・スタッドと相互接続線の組み合わせのパターンをエッチング局所相互接続102の部分露出させる時点で実施する。

【0036】本発明の相互接続を図4から始まる図示する。図4では図3の一部のみが明確に図示される。図3の構造体を有するウエハをその場で（in situ）スパッタ洗浄した後、好ましくはチタン、タール、窒化タンタル、クロム、タングステン、またはこれらの層の任意の組み合わせである接着および接触から成る、典型的には100～300オングストロームの厚さの薄い層5を付着させる。その後で、クロム、クロム、タングステン・シリコン、窒化タングステン、窒化タングステンシリコン、窒化チタン、タンタルまたは窒化タンタルなどの材料から成る、典型的には0～400オングストロームの厚さの任意選択の熱障壁層6を付着させる。層5および6は本発明では金属配線と呼ぶ。接触金属は、たとえばチタン、タール、または窒化タンタルとすることができる。隔壁は窒化チタン、酸窒化チタン、タンタル、窒化タンタル、クロム、クロム/酸化クロム、タングステン、タングステン、タングステン・シリコン、またはこれらの任意の組み合わせとすることができる。

BEST AVAILABLE COPY

(7)

特開平11-45

11

12

【0037】線形層は、スパッタリング、蒸着などの共通の付着技法または別々の付着技法によって付着させることができる。反応性スパッタリング、コリメート・スパッタリング、マグネトロン・スパッタリング、低圧スパッタリング、ECRスパッタリング、イオン・ビーム・スパッタリング、またはこれらの任意の組み合わせなどのスパッタリング技法を使用することが好ましい。より好ましくはこれら上述の、層5および6の付着は、単一のポンプ・ダウンでコリメート・スパッタリングを使用し、本発明の出願人に譲渡されたダラールおよびローニー (Lowney) の米国特許第4379832号で教示されている反応性金属の付着技法を使用して行う。この特許の開示は参照により本明細書に組み込まれる。好ましい付着温度は約120〜400℃である。

【0038】この任意選択の層6の後に、本発明の第1の実施形態では、好ましくは約100〜600オングストロームの厚さの、銅と金属間化合物を形成することができる元素の薄い層7を付着させる。そのような元素は、ハフニウム、ランタン、ジルコニア、スズ、およびチタンから成るグループから選択することができる。その後、典型的には600〜2000オングストロームの厚さの、薄い銅シード層8を付着させる。

【0039】層5〜8は、スパッタリング、蒸着、CVDなどの共通または別々の付着技法によって付着させることができる。反応性スパッタリング、コリメート・スパッタリング、マグネトロン・スパッタリング、低圧スパッタリング、ECRスパッタリング、イオン・ビーム・スパッタリング、またはそれらの任意の組み合わせなどのスパッタリング技法を使用することが好ましい。より好ましくは、これらの上述の層5、6および7および8の付着は、単一のポンプ・ダウンでコリメート・スパッタリングを使用し、本発明の出願人に譲渡されたダラールおよびローニーの米国特許第4379832号で教示されている反応性金属の付着技法を使用して行う。この特許の開示は参照により本明細書に組み込まれる。好ましい付着温度は120〜400℃である。銅シード層にはエレクトロマイグレーション抵抗を高めるために格子間位置に意図的に炭素を含めることもでき、これについて以下に詳述する。

【0040】銅シード層8の後に、残りの銅層9を電気めっきして溝を埋める。あるいは、層8、または8および9をCVD法によって付着させることもできる。次に、この基板ウエハを化学機械法によって研磨してパターン描画されていない領域から余分な金属をすべて除去し、それによって図4に示す平坦化された構造体にする。

【0041】金属間化合物形成金属層7を使用する場合は、次に基板ウエハを窒素などの非反応性雰囲気中で約250〜450℃の温度に30分ないし2時間加熱する。これによって、金属間化合物形成元素層7が銅層と

反応して図5の銅金属間化合物の層10が形成され、銅金属間化合物層は、銅層8および9のエレクトロマイグレーション耐性を向上させる。金属間化合物の厚さは、金属間化合物の形成中に銅シード層84)がすべて使い尽くされるように選択すること。本発明により銅層に形成される金属間化合物はハフニウム・キュープライド (Hf_2Cu)、ランタン・キュープライド ($LaCu_2$)、ユーテ・ブロンズ (Sns)、チタン・キュープライド ($TiCu$)、およびジルコニウム・キュープライド (Zr_2Cu) とすることができる。

【0042】金属間化合物層は、完全な金属間化合物とすることも金属間化合物と組成金属との組合わとすることもできる。金属間化合物形成元素の選2つの基準に基づいて行うことができる。第一に、する元素の溶解度は銅にまったく溶けないかまたは1子パーセント未満であることが好ましい。低溶解度要なのは、そうでなければ元素が銅内に拡散して電率に影響を及ぼすからである。第二に、元素は安定した金属間化合物を形成することが好ましい。元素のほかに、この2つの基準を満たすその他の銅金属間化合物形成元素として使用することができる。

【0043】より上層の相互接続の画定と形成の上述のプロセス・ステップを繰り返す。最終層の接続を画定した後で1回のみの熱処理を行って金属間化合物を形成することを選択するか、または各相互接続後で熱処理を繰り返すことを選択することができる。この方法である。

【0044】本発明の他の実施形態では、金属間化合物形成元素層は、寸法の小さいバイア・スタッドの場合図6、寸法の大きいバイア・スタッドの場合は図7のように相互接続の厚さの中央に形成する。この状態では、金属間化合物の領域が銅の縁から離れて領域に向かって形成されるようにして、金属間化合物元素層7を最初の銅層の後に付着させる。図6に、理後の銅層9の内部のY字形の金属間化合物領域1 (金属間化合物形成元素層7を付着させている) を示す。図7に示すように複数の金属間化合物領域を使用することもできる。これは、金属間化合物形成元素7つの領域を金属間化合物領域10aおよび10bがれている場所に付着させた、熱処理後の図である。

【0045】本発明の他の実施形態では、金属間化合物形成元素を銅線の上にキャップの形で付着させる。に示すように、図4の平坦化された構造体を形成した後、約100〜400オングストロームの厚さの薄層を除去してその表面を周囲の絶縁面から凹ませる。去は、銅相互接続線またはバイア・スタッドのライ化学機械研磨、機械研磨、あるいはその両方によって、平坦化されたキャップ面を形成するものとする。ことができる。

(8)

特開平11-45

13

【0046】図9に示すように、次に、好ましくはウエハのその場でのスパッタによる形成後に、前述の方法（PVD、電気めっき、無電めっき、CVD、またはそれらの任意の組み合わせ）によって金属間化合物形成元素の薄い層を選択的に付着させる。次に、化学機械研磨または単に機械研磨によって、図10に示すように相互接続層の外部から余分な金属を除去し、層4の表面と同一水準に、銅線上に金属間化合物形成元素のキャップを残す。次のステップは、前述のようにウエハを熱処理して銅層9の上に金属間化合物形成元素層7を形成する。図11に、金属間化合物形成元素層または領域を銅相互接続層の下部と上部の両方に形成する実施形態を図示する。

【0047】金属間化合物キャップ層を形成するこの方法には、線および銅に沿ってキャップ金属を付着させる方法のように銅の細いスリットを露出させたまま残すのではなく、線エッジに沿って銅線を完全に覆うという利点がある。キャップ層を形成する方法について金属間化合物のキャップを形成する目的で説明したが、この方法は、そのような金属には限定されず、タングステン、タングステン・シリコン、タングステン窒素、ハフニウム、ジルコニウム、タンタル、窒化タンタル、チタン、スズ、ランタン、ゲルマニウム、炭素、クロム、クロム酸クロム、白金、またはそれらの任意の組み合わせなど、任意の所望の金属、合金、または金属間化合物を使用することができることを理解されたい。

【0048】したがって、銅金属間化合物層は選択的付着によって銅線断面の下部、中央、上部、またはそれらの任意の組み合わせの場所に形成される。本発明は、これらの領域の一部または全部にある銅金属間化合物層にその場で形成して銅相互接続線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させる方法を提供する。

【0049】前述のように、付着させた銅格子内に炭素原子を組み込むために、真空ツール内で気体の形の炭素材料の意図的抽気を使用して銅シード層を形成する。基板は約100〜400℃の温度に保持することが好ましい。この炭素材料は、 C_2H_2 または C_2H_4 炭化水素酸素基に属する炭素材料など、酸素、窒素、または硫黄を含まない炭素である。炭素材料は不活性キャリア・ガスを使用して濃縮された形または希釈された形で真空ツール内に導入することができる。真空ツールはスパッタリング・ツールまたは蒸着ツールであることが好ましく、炭素材料の分圧は約 10^{-4} 〜 10^{-7} トルであることが好ましい。

【0050】このような付着プロセスのより好ましいパラメータは、最初に基板を 10^{-5} トルの圧力までポンプダウンし、自動圧力制御を使用してアセチレン・ガスを 10^{-5} トルの圧力で抽気し、その後でアルゴン・ガスを4intトルの圧力で導入し、基板の溝内に銅を付着させることである。本発明のこの態様によって、銅格子内に

14

0.1ppm〜15ppmの溶解炭素を有する銅接続が形成される。

【0051】銅内にこのような炭素を組み込むことによって、電気めっきされた銅におけるエレクトロマイグレーション耐性が強化され、CVD銅ではその程度いいことがわかった。理論によって縛られる望まないが、強化されたエレクトロマイグレーション性は格子間位置に炭素原子を組み込んだことによえられる。このような格子間炭素は、銅の電気特性認め得るほどの影響を与えないが、化学特性と機械には大きな影響を与える。

【0052】本明細書に記載の手引きと例示が当業者なら本発明のプロセスおよび構造の他の実が思いつくことは明らかであろう。たとえば、銅層8は次のプロセス・ステップにおける銅の電気のために付着させることができることがわかる。層9にCVD銅を使用することを選択した場合、層8は不要である。また、絶縁層の対は有機膜、有機/有機、または無機/無機とすることが

【0053】また、ダマシン法による銅相互接続の際に化学的気相付着を使用して銅シード層を付着すると、従来の技術で使用されている典型的な11〜2000オングストロームの厚さでの物理的気相（たとえばスパッタリングや蒸着など）技法の使用と比較して、これまで知られていなかった利点が得られることもわかった。付着させたCVD銅シード層の厚さは50〜2000オングストロームであり、約1000オングストロームの範囲であることが好ましい。PVD銅シード層は、約800オングストローム未満、好ましくは約600オングストローム未満で付着させた場合、より厚い従来の技術のPVIシード層に優る利点が得られる。これらの利点には、高いエレクトロマイグレーション耐性が含まれる。D銅シード層を使用した場合、または800オングストローム未満の厚さのPVD銅シード層を使用した本発明により銅金属間化合物層なしで溝を埋める銅シード層上に直接付着させることができる。銅層シード層を付着させるために使用するプロセスとは異なるプロセスによって付着させる必要がある。

【0054】本発明のこの態様の相互接続を図12及び図13に示す。図12（図3の一部が図示されている）に示すように、図3の構造を持つウエハをそのスパッタ洗浄した後、前述と同様の方式で線形のおよび6を付着させる。この場合も熱拡散層6は任択である。しかし、銅金属間化合物層7を付着させる代わりに、線形層6上に直接シード層8を付着させるまたは層6がない場合には線形層5上に直接付着させることができる。CVD技法を使用した場合、シード厚さ8は約300〜600オングストロームである

BEST AVAILABLE COPY

(9)

特開平11-41

15

がより好ましい。PVD技法を使用した場合、銅シード層の厚さは約600オングストローム未満であることが好ましく、約200〜500オングストロームであることがより好ましい。銅シード層8の後に、銅の残りの層9を電気めっきして銅を完全に埋める。次に、基板ウエハを化学機械法によって研磨してパターン描画されていない領域から余分な金属をすべて除去し、それによって図13に示す構造が形成される。このような構造は、エレクトロマイグレーション耐性が向上し、欠陥影響度が低減されたサブクォーターミクロンの銅相互接続を提供することができる。

【0055】まともとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0056】(1) 基板内の電気機構との接点を形成するために誘電絶縁によって互いに分離された銅線の多層相互接続を形成する方法であって、(a) 画定されたパターン内に銅線を収容する誘電絶縁層を有する基板を設けるステップと、(b) 前記パターン内に金属線を付着させるステップと、(c) 化学的気相付着銅層を前記パターン内に付着させるステップと、(d) 化学的気相付着銅層の上に異なるプロセスによって銅の層を付着させて前記パターンをほぼ充填するステップとを含む方法。

(2) 化学的気相付着銅層が約50ないし2000オングストロームの厚さを有する、上記(1)に記載の方法。

(3) 化学的気相付着銅層が約100ないし700オングストロームの厚さを有する、上記(1)に記載の方法。

(4) 前記化学的気相付着銅層を付着させるステップの前に、(i) 前記パターン内に銅との金属間化合物を形成することができる元素の層を付着させ、さらに前記パターンを充填する銅の層を付着させるステップと、(ii) 基板を加熱して金属間化合物形成元素を前記パターンを充填する前記銅層と反応させて金属間化合物の層を形成するステップとをさらに含む、上記(1)に記載の方法。

(5) 金属間化合物形成元素が、ハフニウム、ランタン、チタン、スズ、およびジルコニウムから成るグループから選択される、上記(4)に記載の方法。

(6) 基板内の電気機構との接点を形成するために誘電絶縁によって互いに分離された銅線の多層相互接続を形成する方法であって、(a) 画定されたパターン内に銅線を収容する誘電絶縁層を有する基板を設けるステップと、(b) 任意選択により前記パターン内に金属線を付着させるステップと、(c) 約800オングストローム未満の厚さを有する銅の物理的気相付着層を前記パターンで付着させるステップと、(d) 物理的気相付着銅層の上に異なるプロセスによって銅の層を付着させて前記パターンをほぼ充填するステップとを含む方法。

(7) 物理的気相付着がスパッタリングによる、上記

16

(6)に記載の方法。

(8) 物理的気相付着が蒸着による、上記(6)の方法。

(9) 物理的気相付着銅層が約600オングストロームの厚さを有する、上記(6)に記載の方法。

(10) 前記物理的気相付着銅層を付着させるの前に、(i) 前記パターン内で銅との金属間化合物形成することができる元素の層を付着させ、さらにパターンを充填する銅の層を付着させるステップ

(ii) 基板を加熱して金属間化合物形成元素を前記パターンを充填する前記銅層と反応させて金属間化合物を形成するステップとをさらに含む、上記(6)の方法。

(11) 金属間化合物形成元素がハフニウム、ランタン、チタン、スズ、およびジルコニウムから成るグループから選択される、上記(10)に記載の方法。

(12) 基板内の電気機構との接点を形成するために誘電絶縁によって互いに分離された銅線の多層相互接続を形成する方法であって、(a) 画定されたパターン内に銅線を収容する誘電絶縁層を有する基板を設けるステップと、(b) 前記パターンで金属線を付着させるステップと、(c) 化学的気相付着と物理的気相付着とのグループから選択したプロセスによって前記パターン内に約800オングストローム未満の厚さを有する銅シード層を付着させるステップと、(d) 銅のシード層の上に異なるプロセスによって銅の層を付着させてパターンをほぼ充填するステップとを含む方法。

(13) 銅シード層が約600オングストローム未満の厚さを有する、上記(12)に記載の方法。

(14) 前記銅シード層を付着させるステップの前に

(i) 前記パターンで銅との金属間化合物を形成することができる元素の層を付着させ、さらに前記パターンを充填する銅の層を付着させるステップと、(ii) 基板を加熱して金属間化合物形成元素を前記パターンを充填する前記銅層と反応させて金属間化合物の層を形成するステップとをさらに含む、上記(12)に記載の方法。

(15) 金属間化合物形成元素が、ハフニウム、ランタン、チタン、スズ、およびジルコニウムから成るグループから選択される、上記(14)に記載の方法。

(16) 銅シード層が物理的気相付着によって付着する、上記(15)に記載の方法。

(17) 銅シード層が化学的気相付着によって付着する、上記(15)に記載の方法。

【図面の簡単な説明】

【図1】電気めっきされた銅を使用して二重ダマシで製作された従来技術の多層銅相互接続の一部を示す断面図であり、通常のプロセスで生じた金属腐食と線が図示されている図である。

【図2】従来の技術で使用される様々な金属層を示す図1の相互接続の一部の拡大図である。

BEST AVAILABLE COPY

(10)

特開平11-41

17

【図3】有機誘電絶縁体の層と他の誘電絶縁体の薄い層を付着させ、従来の技術の二重ダマシンの教示によりバイア・スタッドと相互接続線の組み合わせられたパターンをエッチングしてその下の金属線層を露出させた、本発明の方法を開始する前の基板の立面図である。

【図4】本発明の銅金属間化合物形成組成を組み込んだ形成状態の相互接続構造体内の様々な層を示す立面図である。

【図5】本発明による、相互接続のために銅シード層を金属間基層に変えた後の図4の相互接続構造体を示す立面図である。

【図6】寸法の小さいバイア・スタッドを示す、銅相互接続部の中央に金属間化合物層が形成された本発明の代替実施形態の立面図である。

【図7】寸法の大きいバイア・スタッドを示す、銅相互接続部の中央に金属間化合物層が形成された本発明の代替実施形態の立面図である。

【図8】図4に示すように形成された構造体であるが、上面から薄い銅の層を除去された、本発明によるキャップ層を形成する処理ステップのシーケンスを示す図である。

【図9】図4に示すように形成された構造体であるが、上面から薄い銅の層を除去された、本発明によるキャップ層を形成する処理ステップのシーケンスを示す図である。

【図10】図4に示すように形成された構造体であるが、上面から薄い銅の層を除去された、本発明によるキャップ層を形成する処理ステップのシーケンスを示す図

である。

【図11】図4に示すように形成された構造体であるが、上面から薄い銅の層を除去された、本発明によるキャップ層を形成する処理ステップのシーケンスである。

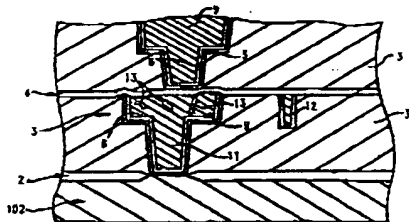
【図12】本発明による、PVDまたはCVD層層を使用して製作された形成状態の相互接続構造様々な層を示す立面図である。

【図13】シード層の上に銅の電気めっき層を付け、ウェハを研磨して余分な金属を除去した後の構造体を示す立面図である。

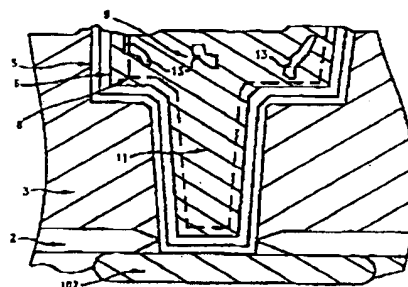
【符号の説明】

- 2 絶縁層
- 3 絶縁層
- 4 絶縁層
- 5 線形金属配線層
- 6 線形金属配線層
- 7 金属間化合物形成元素層
- 8 銅シード層
- 9 銅相互接続線層
- 11 バイア・スタッド
- 12 溝
- 13 穴
- 101 バイア
- 102 金属相互接続線
- 103 絶縁層
- 105 基板

【図1】



【図2】

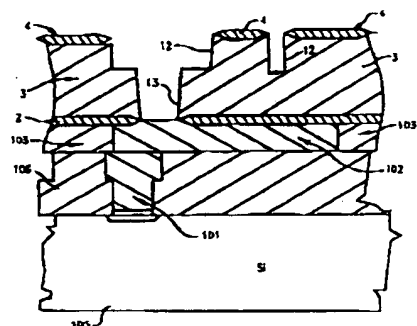


BEST AVAILABLE COPY

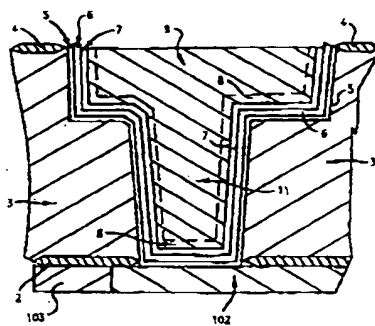
(11)

特開平11-45

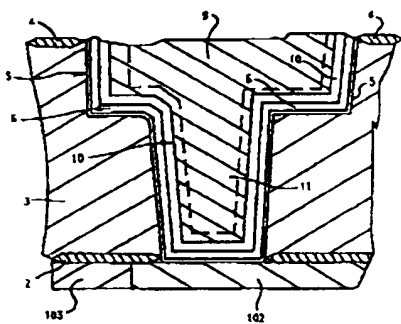
【図3】



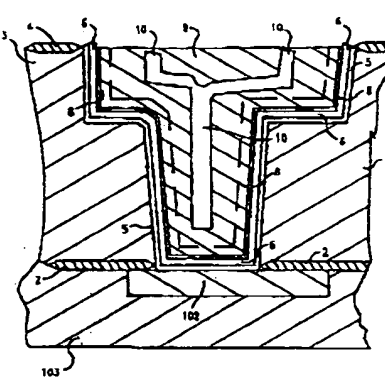
【図4】



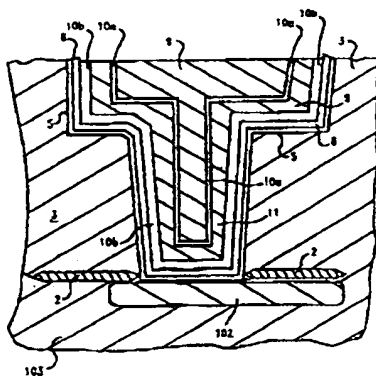
【図5】



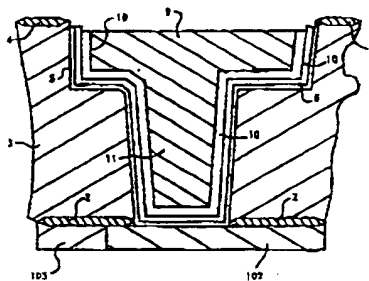
【図6】



【図7】



【図8】

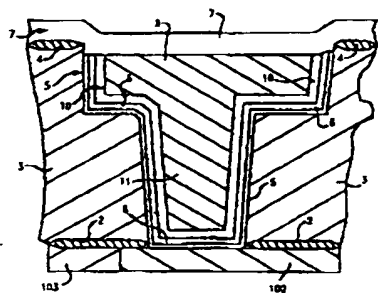


BEST AVAILABLE COPY

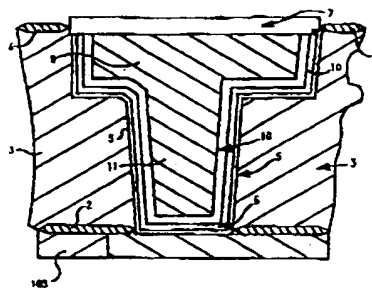
(12)

特開平11-41

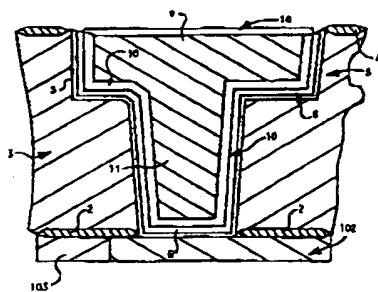
【図9】



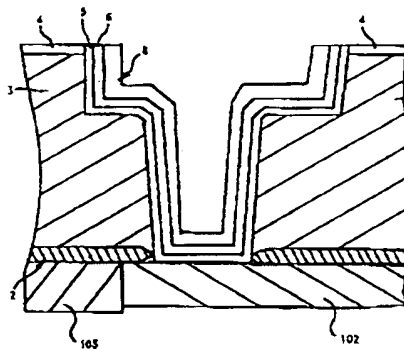
【図10】



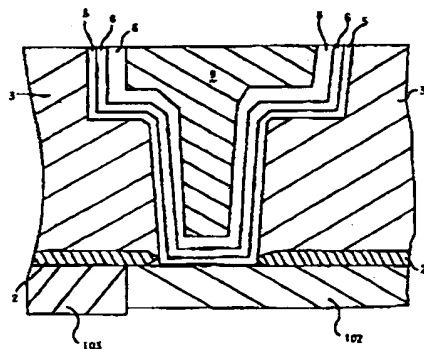
【図11】



【図12】



【図13】



BEST AVAILABLE COPY

(13)

特開平11-4

フロントページの続き

(72)発明者 ホルマズドヤール・エム・ダラール
アメリカ合衆国12547 ニューヨーク州ミ
ルトン カッセル・ロード 16

(72)発明者 ポール・エス・マクラフリン
アメリカ合衆国12601 ニューヨーク州ボ
ーキプシー デビッド・ドライブ 27

(72)発明者 デュ・ビー・グエン
アメリカ合衆国06810 コネチカット州ダ
ンベリー ヒッコリー・ストリート 15

(72)発明者 リチャード・ジー・スミス
アメリカ合衆国12603 ニューヨー
ークシー メイプロ・ロード・ニ
ンション 71

(72)発明者 アレグザンダー・ジェイ・スウィン
アメリカ合衆国12533 ニューヨー
ークウェル・ジャンクション ラシ
ア・ロード 11

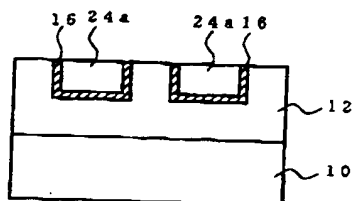
(72)発明者 リチャード・エイ・ワクニク
アメリカ合衆国10509 ニューヨー
ークスター ルーラル・ルート 10
ナー・ロード

BEST AVAILABLE COPY

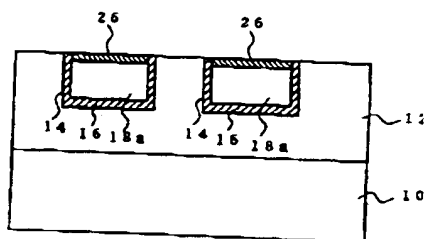
(21)

特開平11-181

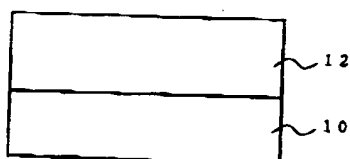
【図30】



【図31】

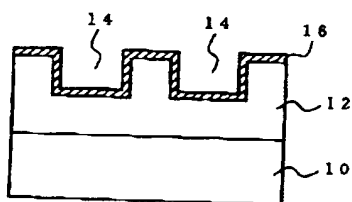


【図32】

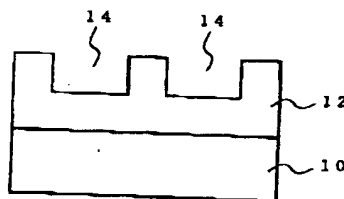


10 半導体基板
12 絶縁膜
14 配線層
18a Cu-4at.%Mg配線層
26 MgO皮膜

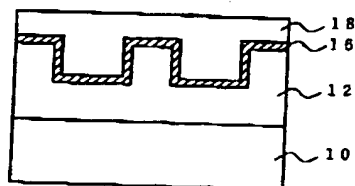
【図34】



【図33】



【図36】



【図35】

